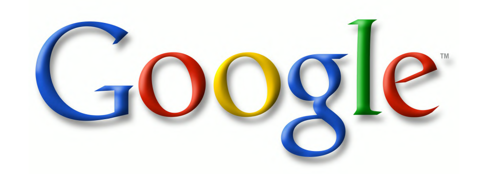
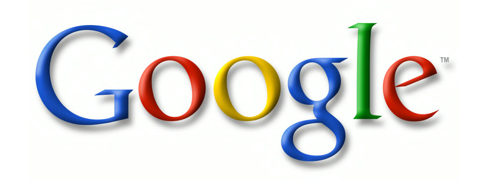
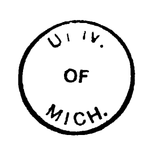
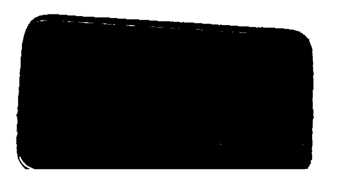





OF
MICH.



LA

# STÉRÉOSCOPIE
# DE PRÉCISION

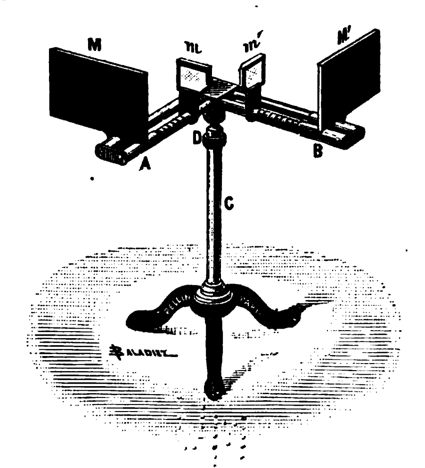
5 2

## THÉORIE ET PRATIQUE

PAR

L. CAZES

RÉPÉTITEUR GÉNÉRAL AU LYCÉE SAINT-LOUIS




PARIS

LIBRAIRIE J. MICHELET

25, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 25

PH. PELLIN, ÉDITEUR

21, RUE DE L'ODÉON, 21

1895

# AVANT-PROPOS

Jusqu'à présent, le Stéréoscope a été considéré à peu près exclusivement comme un jouet destiné à l'amusement des enfants et, plus souvent encore, des grandes personnes. Nous ne sommes pas seul à penser que, tout en conservant ce rôle, il peut en avoir d'autres; qu'il peut notamment faciliter :

*L'enseignement*, *l'industrie* et *les arts* par des reproductions en albums de collections rares ou coûteuses;

*Les recherches scientifiques* (étude expérimentale des corps en mouvement, etc.);

*Les vérifications et corrections*, comme celles du modelé de la Carte de l'État-major;

Et même le *Commerce*, par un genre spécial de publicité.

Mais pour que la reproduction stéréoscopique soit *fidèle*, c'est-à-dire SEMBLABLE *à l'original*, il est nécessaire de se conformer à cer-

taines règles très précises, soit dans la production des épreuves, soit dans leur examen.

Ce sont ces règles que nous nous proposons d'établir et de faire connaître.

En remplaçant la vision binoculaire d'un objet par celle de ses deux perspectives prises des yeux comme points de vue, les conditions de la vision *sont les mêmes* en ce qui concerne les directions des rayons moyens, c'est-à-dire qui passent par les *centres* des pupilles; ces directions sont justiciables de la *géométrie* seule. Elles *diffèrent* par les ouvertures des cônes de rayons qui, partant des divers points, sont limités par les pupilles : ces rayons ne donnent pas lieu dans les deux cas à des perceptions également nettes ou également confuses; ces différences sont du ressort de *l'optique* géométrique.

A ne considérer que *les directions des rayons moyens*, deux perspectives centrales prises de deux points de vue *différents* sur des surfaces quelconques pourraient être utilisées en stéréoscopie; mais la pratique ne saurait admettre pour ces surfaces que *des plans*. Les propriétés des

couples de perspectives prises ***sur un même plan équidistant des points de vue*** sont tellement précieuses que, les connaissant, nul ne voudrait renoncer à leur emploi. N'est-ce pas dans un même plan aussi qu'on met d'ordinaire les épreuves pour les regarder? Il convient de ne pas changer sans motif.

Quant à la partie *optique*, il suffit, pour rétablir l'identité physiologique des deux visions, de rendre les différences insensibles. On peut y arriver de plusieurs façons; en voici deux :

1° Rétrécir *dans les deux cas* l'ouverture de la pupille en regardant à travers deux très petits trous. Ce moyen présente, entre autres graves défauts, celui de modifier la vision ordinaire;

2° Borner l'objet reconstitué à deux plans de front tels qu'on ait, dans la vision ordinaire de la portion d'objet ainsi limitée, une perception nette *de tous ses points à la fois*, quel que soit celui qu'on regarde en particulier. C'est à ce procédé que nous nous sommes arrêté.

Nous croyons avoir été le premier à signaler, en 1885, ce rôle de l'accommodation dans la

vision stéréoscopique, en donnant la solution d'un cas tout à fait particulier (*reconstitution à 30 centimètres*). Les auteurs qui en ont parlé depuis cette époque ont parfois si drôlement interprété nos résultats que certains en ont donné la formule sans même énoncer le problème. Aussi pensons-nous être utile aux amateurs désireux de se rendre compte de ce qu'ils font, et peut-être aussi à quelques savants, en traitant dans cette brochure le même problème complètement généralisé (*reconstitution à toute distance*).

Le lecteur voudra bien ne pas considérer les limites fixées au chapitre IV comme une ligne de démarcation *absolue* entre ce qui est possible et ce qui ne l'est pas. Nous pouvons seulement affirmer qu'en restant dans ces limites, la reconstitution sera toujours aisée, tandis qu'elle deviendra au moins très pénible si on les franchit pour s'en écarter notablement. Ce qui importe, c'est bien plus la forme algébrique que revêt la quantité $p$ que la valeur purement approximative de la constante $k$.

# CHAPITRE PREMIER

# DE LA PERCEPTION DU RELIEF

Les causes de la perception du relief sont nombreuses et de nature diverse. Nous nous contenterons de citer les principales.

1° *Décroissement* avec la distance *de la grandeur apparente d'objets connus*, suivant les lois de la perspective géométrique centrale ;

2° *Déformation de cette perspective* quand on déplace l'œil ou le point de vue ;

3° *Variation de l'accommodation* avec la distance d'un objet à l'œil ;

4° *L'Eclairement ;*

5° *La Perspective aérienne* ordinaire, ou diminution, par l'éloignement, de la netteté dans les détails, due à l'interposition de poussières solides ou liquides flottant dans l'air ;

6° *La Perspective chromatique*, ou changement avec la distance de la *couleur* des objets par absorption de certaines radiations ; cette absorption est due à l'air et à la vapeur d'eau qu'il contient ;

7° *La Variation* avec la distance *de l'angle visuel ou angle de convergence des yeux* (1). Cette cause, exclusive à la vision binoculaire, ne se rencontre que dans deux cas : la contemplation d'objets réels et la vision stéréoscopique. C'est à elle qu'est due, au point de vue de la sensation du relief, la supériorité des épreuves stéréoscopiques par rapport aux peintures ou dessins ordinaires, quelque parfaits que soient ceux-ci. C'est un fait physique, brutal, un fait qui s'impose indépendamment de toute faculté imaginative; aussi MAYO, dès 1833, a-t-il pu caractériser la stéréoscopie en disant que l'impression de relief qu'elle procure est telle qu'aucun effort d'imagination ne peut nous convaincre que ce que nous voyons soit dans un même plan.

### PRINCIPE GÉNÉRAL.

Nous accepterons comme évident que, pour que le relief s'impose le plus possible, toutes les causes

(1) Nous ne voulons pas dire que la sensation de relief est due immédiatement à cette variation, et moins encore à l'*effort musculaire* qui la produit ; mais seulement que les choses se passent *comme si* cette variation était la cause réelle de la sensation du relief binoculaire. Nous n'avons pas besoin pour faire de la stéréoscopie de connaître la nature de cette cause ni de savoir comment deux images différentes reçues chacune par un œil *semblent* jusqu'à un certain point donner une sensation unique.

ci-dessus énumérées doivent concorder, ou, du moins, *aucune ne doit s'opposer à l'effet des autres.*

C'est en vertu de ce principe que :

1° Le relief de ce que représente un tableau se perçoit mieux quand on regarde ce tableau avec un seul œil que lorsqu'on se sert des deux yeux : on supprime, en effet, dans le premier cas la constance de l'angle de convergence, qui est en opposition avec la perception de l'éloignement ;

2° Le déplacement des yeux amenant dans la vision d'un objet réel une déformation des perspectives, on devra éviter ce déplacement des yeux quand on regarde des épreuves photographiques, soit simples, soit surtout stéréoscopiques. — La manière de placer convenablement les perspectives stéréoscopiques devant les yeux et les déformations qui résultent de ce qu'on les place mal font le sujet des chapitres II et III ;

3° L'accommodation sur deux images planes ne pouvant pas suivre indéfiniment la convergence des yeux au stéréoscope, il faudra limiter la variation de celle-ci de telle manière qu'on ne s'aperçoive pas des inconvénients qui résulteraient de la constance de l'autre. — L'étude et la détermination de cette limite sont faites au chapitre IV.

### THÉORÈME FONDAMENTAL.

L'observation de tous les instants et les expériences les plus variées démontrent que si nous obligeons les deux yeux à contempler chacun une image d'un même objet de telle sorte que, pour obtenir *dans tous les cas* la superposition des points correspondants des deux images, les directions des axes des yeux et leur accommodation soient *continuellement* les mêmes que si nous regardions les divers points d'un objet ABC.., nous croirons voir, en effet, un objet identique de forme à l'objet ABC.., placé à la même distance et dans la même position.

C'est ce qui advient chaque fois qu'on regarde avec les deux yeux un objet réel.

C'est ce qu'on réalise au Stéréoscope en remplaçant l'objet par deux images distinctes convenablement dessinées et convenablement placées.

Remarquons que la direction de l'axe de l'œil regardant un point n'est autre que la droite qui joint l'œil à ce point ; on l'appelle *rayon visuel*.

Nous allons traiter d'abord des directions biaxiales des yeux (chap. II et III), puis (chap. IV), de l'accommodation.

---

## CHAPITRE SECOND

# CONSIDÉRATIONS GÉOMÉTRIQUES

---

Donnons d'abord quelques définitions et propriétés des perspectives en faisant remarquer que quelques-unes des définitions données ici sont plus générales que celles qu'on trouve le plus souvent dans les traités élémentaires.

Soit un objet réel constitué par une série de points tels que A, B, C.. (fig. 1) ;

X, un plan arbitrairement choisi, appelé *plan du tableau;*

O, un point fixe quelconque dit *point de vue.*

Si l'on joint chacun des points A, B, C... de l'objet au point de vue O, les droites OA, OB, OC.. percent le plan du tableau X en des points *a*, *b*, *c*.., qui sont dits les *perspectives géométriques* ou *centrales* des points A, B, C...

La figure *a b c*.. est la perspective géométrique de l'objet ABC..

Du point de vue O, abaissons une perpendiculaire OV sur le plan du tableau :

Le pied V de cette perpendiculaire est le *point*

*de fuite principal* ou *point principal ;* nous le considérerons comme lié à la perspective de l'objet ;

La droite indéfinie OV sera le *rayon principal ;*

Sa direction, la *direction principale ;*

La longueur OV sera dite la *longueur* ou *distance principale ;*

Tout plan passant par OV et, par conséquent, perpendiculaire à X, est un *plan d'horizon ;*

Son intersection avec le plan du tableau, une *ligne d'horizon.*

Ainsi définis, il y a un nombre infini de plans d'horizon et de lignes d'horizon relatifs à une perspective et à son point de vue. Nous avons eu besoin de généraliser ces deux termes parce que la direction de la pesanteur n'intervient pas dans les théorèmes ou problèmes relatifs à la stéréoscopie.

On désigne sous le nom de *plan de front* du point A un plan parallèle au plan du tableau et passant par le point A.

Le point O étant donné, le plan X est déterminé si on connaît OV en longueur et en direction, c'est-à-dire si on connaît les distance et direction principales.

*Si on déplace le tableau parallèlement à lui-même,* en faisant simplement varier la longueur principale OV, il en résulte une nouvelle perspec-

tive de l'objet ABC.. *semblable* à la première (y compris le point principal), et le rapport d'homologie est précisément le rapport des longueurs principales correspondantes. Cette propriété est *très importante*.

### PERSPECTIVES ACCOUPLÉES.

Etant donné (fig. 2) de l'objet réel ABC.. deux perspectives *abc*..., *a' b' c'*.., prises de deux points de vue *différents* O et O' sur deux tableaux quelconques X et X', les rayons O*a*, O*b*, O*c*.., d'une part, et O'*a'*, O'*b'*, O'*c'*.., d'autre part, se coupent deux à deux en des points A, B, C.., parfaitement déterminés et qui *reconstituent* l'objet primitif.

Comme on peut produire un certain nombre de déplacements des perspectives et des points de vue les uns par rapport aux autres sans que les rayons correspondants cessent de se couper, nous donnerons, en général, le nom *d'objet reconstitué* à la figure dans l'espace formée par les intersections des rayons correspondants, lors même que cette figure ne serait ni égale, ni même semblable à celle qui a fourni les perspectives.

Dans des couples de perspectives à points de vue distincts, il y a avantage à considérer pour

chacune d'elles un certain plan d'horizon qui prendra le nom de *principal :* c'est celui qui passe par le point de vue de l'autre perspective. La ligne d'horizon qu'il détermine sera la ligne d'horizon *principale*. Les lignes d'horizon principales sont représentées par les lettres H et H′ dans les figures 2, 3, 4, 6 et 8.

PROBLÈME. — **Reconstituer un objet semblable à celui qui a fourni deux perspectives.**

Supposons le rapport quelconque $\frac{m}{n}$ et proposons-nous d'effectuer la reconstitution au moyen des deux perspectives *abc*.. V et *a′ b′ c′*.. V′ (fig. 2), connaissant la position réciproque des quatre points O, O′, V et V′.

Pour cela, construisons par la pensée une figure 3 *semblable* à la précédente, en prenant pour rapport d'homologie le proposé $\frac{m}{n}$, et désignons dans la fig. 3 les points correspondants à ceux de la figure 2 par les mêmes lettres affectées de l'indice 1.

Nous aurons ainsi effectué la reconstitution proposée, mais avec deux nouvelles perspectives *semblables* seulement aux premières et non point *égales* à celles-ci.

Considérant maintenant l'objet reconstitué

comme réel, déplaçons les tableaux $X_1$ et $X'_1$ parallèlement à eux-mêmes jusqu'à rendre leurs distances principales respectivement égales à OV et O′V′ de la fig. 2.

En vertu de la propriété sur laquelle nous avons insisté pages 12 et 13, les nouvelles perspectives qui en résultent sont devenues égales à celles de la fig. 2, et le problème est résolu.

De là découle la règle très simple que voici :

**1° Déplacer les points de vue O et O′ le long de la droite qui les joint jusqu'à ce que leur distance soit à la précédente dans le rapport proposé** $\left(\frac{\delta}{\Delta} = \frac{m}{n}\right)$

**2° Conserver les mêmes longueurs et directions principales;**

**3° Maintenir les lignes d'horizon principales dans leur plan d'horizon respectif.**

Il est à peine besoin de dire qu'en photographie stéréoscopique OO′ (fig. 2) désigne l'intervalle des objectifs et $O_1 O'_1$ (fig. 3) l'intervalle des yeux. Cette dernière quantité est donnée tandis que la première est à la disposition de l'opérateur. Il est donc toujours possible de reconstituer stéréoscopiquement un objet *semblable* à un objet donné et dans un rapport de similitude *quelconque*, et cela quelle que soit la distance focale des objectifs employés. Si l'on en est empêché, ce ne peut être que

par des obstacles étrangers à la méthode. Mais de ce qu'on peut prendre un rapport quelconque, il ne s'ensuit pas qu'on ne doive pas choisir judicieusement ce rapport. (V. Chap. V « Applications »).

Remarque I. — En opérant la reconstitution suivant la règle ci-dessus, l'œil droit *voit* l'objet reconstitué *sous le même angle* que l'objectif droit *voyait* l'objet réel ; de même pour l'œil gauche et l'objectif gauche. Il est donc impossible d'obtenir aucun grossissement angulaire quel qu'il soit en conservant la similitude. En particulier, des phothographies stéréoscopiques de la lune, placées correctement pour obtenir le relief exact, doivent nous montrer une demi-sphère vue sous un angle de 1/2 degré, qui est le diamètre apparent de cet astre.

Remarque II. — Rien ne sera modifié dans l'objet reconstitué si on remplace une perspective par une semblable, réelle ou virtuelle, à condition de faire varier la distance principale dans le rapport de similitude. On opère ce changement quand on projette une épreuve sur un écran (image réelle) ou quand on la regarde à travers une lentille (image virtuelle), l'œil étant placé le plus près possible du centre optique. Dans le premier cas, il

faudra avoir bien soin de déterminer comme il convient la distance de l'œil à l'écran; dans le second cas, la variation dans le même rapport de la grandeur de la perspective et de sa distance principale se fait sans qu'on ait à s'en occuper.

### SIMPLIFICATIONS.

Presque toujours on met les deux directions principales dans le même plan (fig. 4 et 5); alors les deux plans d'horizon principaux sont confondus (c'est le plan choisi pour plan des figures 5, 7 et 9).

Le plus souvent aussi les deux longueurs principales OV et O'V' sont égales entre elles (fig. 6 et 7) : c'est la longueur focale conjuguée de l'objectif ou des objectifs employés.

Enfin les deux plans des tableaux peuvent être confondus (fig. 8 et 9); ce plan commun est alors parallèle à OO' et les rayons principaux sont parallèles entre eux.

Comme, pour des raisons physiques et physiologiques exposées plus loin, toutes les simplifications ci-dessus s'imposent en stéréoscopie, nous les considèrerons dorénavant comme toujours réalisées.

Nous pourrons aussi, par la suite, nous affran-

chir de l'usage exclusif des termes de perspective et employer ceux qui sont usités en photographie stéréoscopique ; ainsi nous dirons indifféremment pour désigner (v. fig. 2) :

O et O′, points de vue ou *objectifs ;*

OV et O′V′, distance principale, ou *longueur focale*, etc.

Tout le monde sait, du reste, qu'un bon objectif photographique donne des perspectives exactes.

Les simplifications dont nous venons de parler introduisent dans les perspectives accouplées de nouvelles propriétés *très importantes ;* par exemple :

1° *Un point A n'est plus contenu que dans un seul plan de front;*

2° *La distance* aa′ *de deux points correspondants est constante pour tous les points A d'un même plan de front ;*

3° *Toute figure contenue dans un plan de front est semblable à chacune de ses perspectives et le rapport de similitude est le même que celui des distances du plan de front et du plan perspectif aux points de vue; les deux perspectives de cette figure sont donc égales entre elles.*

---

## CHAPITRE TROISIÈME

# DES DÉFORMATIONS

---

Nous venons de résoudre le problème de la reconstitution d'un objet semblable à celui qui a donné deux perspectives, au moyen de ces mêmes perspectives. Nous avons donné une solution et une seule. Il n'en existe pas d'autre et l'on ne pourrait pas, par exemple, déplacer les tableaux par rapport aux points de vue, tout en conservant la similitude désirée.

Et d'abord, pour qu'il y ait un objet reconstitué, semblable ou non au sujet, il faut que deux rayons visuels correspondants se coupent, c'est-à-dire qu'ils soient situés dans un même plan; et cela doit avoir lieu pour *tous* les rayons visuels pris ainsi deux à deux. On voit déjà que les déplacements des perpectives qui réalisent cette condition sont fort peu nombreux. Nous allons examiner quelques-uns de ceux qu'on pourrait être tenté d'effectuer, en montrant que dans aucun cas, la similitude de l'objet reconstitué et du sujet n'est maintenue.

### I. Changement de la longueur principale commune.

Le plan des perspectives passe (fig. 10) de X en $X_1$ ; les points $a$ et $a'$ passent en $a_1$ et $a'_1$ ; le point reconstitué A vient en $A_1$ ; OV devient $OV_1$.

Pour tout point A d'un plan de front, on a :

$$\frac{AM}{mM} = \frac{OO'}{OO' - aa'} = \text{constante (V. p. 18, 2°)}; \quad [1]$$

de même pour tout point du plan de front de $A_1$,

$$\frac{A_1 M}{m_1 M} = \frac{OO'}{OO' - a_1 a'_1} = \text{constante.} \quad [2]$$

Mais comme, par hypothèse, $aa_1 = a_1 a'_1$, on a

$$\frac{AM}{mM} = \frac{A_1 M}{m_1 M} \quad [3]$$

On voit que, par le changement considéré ici, toute figure contenue primitivement dans le plan de front de A reste identique à elle-même en passant dans le plan de front de $A_1$. Donc l'objet reconstitué conserve toutes ses dimensions transversales en s'éloignant ou se rapprochant.

Il n'en est pas de même de ses dimensions en profondeur, qui varient exactement comme la distance des perspectives aux yeux ; c'est ce qu'indique la dernière relation écrite [3].

**II. Déplacement simultané, égal et dans le même sens des perspectives dans leur propre plan et parallèlement à elles-mêmes.**

Nous choisirons comme type le déplacement horizontal, ou le long de la ligne d'horizon principale.

La direction *aa'* (fig. 11) restant dans un même plan avec OO', les rayons visuels correspondants se coupent, et *il existe un objet reconstitué.*

La longueur *aa'* restant constante, le point A reste dans son plan de front ; donc les dimensions *en profondeur* de l'objet reconstitué *ne changent pas.*

Toute figure située dans le plan de front de A étant semblable à ses perspectives et dans un rapport d'homologie constant, *il n'y a pas de modifications dans les dimensions transversales* de l'objet reconstitué.

*Il n'en est pas de même des angles.* En effet, les plans de front, tout en conservant leurs distances respectives, ont glissé les uns par rapport aux autres, emportant avec eux les points qu'ils contiennent. OV étant venu en $OV_1$, tournant d'un angle $\alpha$, les points qui se trouvaient dans un plan

vertical perpendiculaire aux plans de front, se trouvent maintenant dans un plan vertical qui fait avec les plans de front un angle de $90°-\alpha$. Ce plan vertical a tourné d'un angle $\alpha$ autour d'un axe vertical contenu dans son plan et coupant la droite OO'.

Par exemple, deux perspectives *d'un cube vu de face*, placées correctement, reconstituent *un cube vu de face ;* mais après le déplacement ci-dessus, elles reconstituent un *parallélipipède*, dans lequel les faces antérieure et postérieure sont des *carrés*, les faces latérales des *rectangles*, et les faces supérieure et inférieure des *parallélogrammes*.

Si nous avons un peu insisté sur cette déformation souvent observée, c'est qu'elle a été quelquefois attribuée à une tout autre cause. On a pu croire, en effet, qu'elle n'était qu'une illusion tenant à ce que, si on se déplace par rapport à un objet réel, on voit successivement des parties qu'on ne voyait pas d'abord, tandis qu'il n'en peut être de même quand on se déplace devant un objet reconstitué.

Le lecteur verra lui-même la déformation de même nature qui se produit quand le déplacement se fait suivant une direction quelconque.

**III. Déplacement simultané et égal, mais en sens contraire, des deux perspectives dans leur propre plan et parallèlement à elles-mêmes.**

1° DÉPLACEMENT HORIZONTAL.

Chaque épreuve s'éloigne du centre (fig. 12) d'une quantité $\frac{\zeta}{2}$ ; $a$ vient en $a_1$, $a'$ vient en $a'_1$ ; la droite $a_1a'_1$ étant confondue avec la droite $aa'$, reste dans un même plan avec OO' : *il y a reconstitution* (1).

Les déformations, s'il y en a, sont symétriques par rapport au plan vertical médian dont la trace sur la figure est Y Y' et qui coupe OO' au point Y. Le point A vient en $A_1$ en restant sur la droite Y A.

Tous les points situés primitivement dans le plan de front de A, sont situés, après le déplacement, dans le plan de front de $A_1$. En effet, les premiers étaient reconstitués par des points perspectifs distants d'une quantité fixe $aa'$ ; cette distance est devenue $aa' + \zeta$ ; les mêmes points perspectifs reconstituent donc un plan de front.

Toute figure située dans le plan de front de A, étant semblable à ses perspectives, reste encore semblable à elle-même en passant dans le plan de

(1) Le lecteur voudra bien suppléer à l'absence des lettres $a$, $a'$, $a_1$ et $a'_1$ à la fig. 12.

front de $A_1$. Le rapport de transformation est $\frac{OV_0}{OV_1}$, qui est le rapport des distances des plans de front aux points de vue. Donc, si nous considérons dans l'objet reconstitué avant le déplacement deux très petites dimensions égales et voisines, l'une transversale, l'autre en profondeur, ces dimensions ont varié par le déplacement dans un certain rapport, tout en restant égales entre elles ; mais le rapport de variation n'est pas constant pour les divers points de l'espace : il est égal à

$$\frac{OV_0}{OV_1} = \frac{OO' - aa' - \zeta}{OO' - aa'}.$$

Suivant les valeurs particulières de OO', de *aa* et de ζ, il peut varier de O jusqu'à l'infini, et même changer de signe.

En produisant progressivement le déplacement indiqué sur la figure, l'objet reconstitué parait s'éloigner en grandissant; mais les parties lointaines de l'objet grandissent et s'éloignent plus vite que les parties voisines des yeux.

2° DÉPLACEMENT VERTICAL.

Ce déplacement fait sortir un des points, *a*, par exemple, du plan qui passe par son correspondant *a*' et par les points de vue.

*Il n'y a pas d'objet reconstitué.*

**IV. Déplacement inégal des deux perspectives dans leur propre plan et parallèlement à elles-mêmes.**

On pourra toujours l'obtenir au moyen de deux mouvements déjà étudiés.

**V. Rotation simultanée et égale des deux perspectives autour d'un axe unique.**

1° AUTOUR D'UN AXE HORIZONTAL CONTENU DANS LEUR PLAN.

La droite *aa'*, étant parallèle à l'axe de rotation et à la droite OO' (fig. 13), reste, après sa translation, parallèle à ces deux droites; *il y a donc un objet reconstitué.*

Pour donner une idée de la déformation produite, reportons-nous à la fig. 14.

Faisons passer un plan Q par les points de vue O et O' et par l'axe de rotation *q*. Rien n'est changé dans ce plan par suite de la rotation.

Tous les points situés du côté de ce plan où se trouve la partie des perspectives que la rotation éloigne de l'observateur s'éloignent aussi de celui-ci; les autres s'en rapprochent.

Menons par OO' le plan R perpendiculaire au plan bissecteur de l'angle de rotation. Tous les points primitivement situés dans le plan R restent dans ce plan ; ceux situés du côté du plan Q où

se trouve R se rapprochent angulairement du plan R par la rotation ; les autres s'en éloignent.

Tous les points reconstitués situés dans le plan même des perspectives suivent ce plan dans sa rotation.

### 2° Autour d'un axe horizontal parallèle au plan des perspectives.

Elle peut être considérée comme la résultante de deux mouvements déjà étudiés : 1° un glissement vertical des perspectives dans leur plan ; 2° une rotation autour d'un axe horizontal contenu dans leur plan. *Une reconstitution a lieu.*

### 3° Autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan des perspectives.

La droite *aa'* ne reste pas dans le plan de OO'. *Pas de reconstitution*, sauf dans le plan des perspectives où *aa'* = o.

### 4° Autour d'un axe vertical contenu dans leur plan.

En général la droite *aa'* ne reste pas dans le plan de OO', et *il n'y a pas d'objet reconstitué ;* mais il existe deux systèmes de points reconstitués.

L'un est compris dans le plan d'horizon principal ; en effet, si la droite *aa'*, était primitivement dans ce plan, elle y est restée malgré la rotation.

L'autre correspond à une valeur nulle de la longueur *aa'*, c'est-à-dire au cas où *a* et *a'* sont confondus avec le point A qu'ils reconstituent. Le plan de front de A était confondu avec le plan des perspectives : il suit ce plan dans sa rotation.

5° ROTATION AUTOUR D'UN AXE VERTICAL QUELCONQUE.

Elle est la résultante de deux mouvements déjà étudiés : un glissement horizontal des perspectives dans leur plan, et une rotation autour d'un axe vertical contenu dans leur plan.

### VI. Rotation inégale des deux perspectives autour d'un axe unique.

En général, *il n'y a pas d'objet reconstitué;* mais il peut y avoir des systèmes de points reconstitués. (Cas peu intéressant.)

### VII. Rotation de chaque perspective autour d'un axe distinct.

En général, *il n'y a pas non plus d'objet reconstitué;* mais il peut y avoir des systèmes de points reconstitués.

Nous n'étudierons avec quelque détail qu'un cas particulier, parce que cette étude infirmera une règle donnée (sans doute par inadvertance) par les meilleurs auteurs : c'est *la rotation simultanée, égale et en sens contraire des deux perspectives,*

*chacune autour d'un axe vertical passant par son point de vue.*

On a dit, en effet, que pour prendre deux vues stéréoscopiques d'un objet, si la distance des objectifs est un peu grande, il fallait faire *converger* les axes des chambres noires vers un point du sujet : les plaques sensibles sont alors dans deux plans qui se coupent. Comme, pour les examiner au stéréoscope, on amène les épreuves dans un même plan, il en résulte bien une rotation pour chacune autour d'un axe perpendiculaire au plan d'horizon principal et passant par son point de vue. Ainsi (fig. 15), les deux perspectives X et X' tournent d'un angle $\omega$ autour de O et de O', pour venir en $X_1$ et $X'_1$.

Remarquons d'abord que ce mouvement peut se décomposer en deux autres : une rotation $\omega$ autour des axes $q$ et $q'$, et un déplacement horizontal des perspectives dans leur propre plan. Ce dernier déplacement ayant déjà été étudié (art. III, § 1), nous n'examinerons que le premier (1).

En général, *il n'y a pas d'objet reconstitué ;* mais il existe *deux systèmes de points reconstitués.* Le premier est le plan d'horizon principal (fig. 16),

(1) D'autant mieux que, le plus souvent, on n'exécute pas l'autre.

puisque tous les points correspondants des deux perspectives qui y étaient situées, y restent encore après la rotation. L'autre est le plan vertical médian équidistant de O et de O′ et dont la trace sur la figure est YY′.

Voyons d'abord ce qui se passe dans le plan d'horizon principal choisi pour plan de la figure.

Les points $q$ et $q'$ n'ayant pas bougé, le point Q qu'ils reconstituent reste à sa place.

Menons les bissectrices des angles $\omega$, et, des points O et O′, abaissons des perpendiculaires sur les bissectrices correspondantes. Ces perpendiculaires coupent les droites X, X′, $X_1$ et $X'_1$, en des points $r$, $r'$, $r_1$, $r'_1$, tels que $qr = qr_1$ et $q'r' = q'r'_1$.

Le point R reconstitué ne bouge pas.

Il en est de même des points S et T et ces quatre points sont les seuls du plan qui jouissent de cette propriété. Tous les autres subissent des déplacements dont le sens dépend de la région du plan occupée primitivement par le point considéré.

Passons au plan médian dont la trace est YY′.

Tous les points de la figure situés sur la ligne médiane sont les projections des points dans l'espace qu'ils représentent et situés, par exemple, en avant du papier; de même pour les points des

perspectives qui servent à les reconstituer. En conséquence, tous les points qui étaient primitivement placés le long de la droite verticale passant par Q ne bougent pas. Tous les autres subissent des déplacements, mais avec cette condition que ceux qui étaient d'abord situés le long d'une droite verticale sont encore, après la rotation, le long d'une droite verticale; etc., etc.

Il ne faudrait cependant pas croire que, au stéréoscope, lorsqu'on dirige ses regards vers une région de l'espace où n'existe pas de point reconstitué géométriquement, on ne doit rien voir. D'abord on voit simultanément les deux épreuves, qui souvent sont très voisines de la coïncidence. Ensuite, par un mouvement très petit et souvent inconscient, on déplace les points de vue (*les yeux*) de façon à les amener dans le plan des points correspondants que l'on examine plus particulièrement. Mais les autres parties du champ visuel que l'on perçoit en même temps ne sont pas en coïncidence et les déformations prévues persistent.

---

## CHAPITRE QUATRIÈME

# DE L'ACCOMMODATION

---

Le rôle de l'accommodation dans la vision stéréoscopique a été longtemps méconnu. Il n'en est pas moins capital, et, pour le prouver, il suffit d'une expérience assez simple :

Prenons un objet de forme allongée, une règle carrée, par exemple, de 30 à 40 cent. de longueur et plaçons-la presque par bout et assez près devant nos yeux, en la regardant fuir obliquement. Une des extrémités sera à 30 cent. et l'autre à 60 ou 70. — Nous pouvons sans difficulté regarder successivement toutes les parties de cette règle sans constater d'étrangeté ni éprouver de fatigue.

Remplaçons cette règle par ses deux perspectives prises, des yeux comme point de vue, sur des tableaux quelconques : il sera impossible d'obtenir une reconstitution stéréoscopique acceptable donnant l'illusion d'un objet réel. Mais l'illusion viendra si nous ne reproduisons à la fois que des tranches comprises entre des plans de front assez voisins.

Voici les raisons de cette anomalie apparente.

En regardant la règle, *l'accommodation* et *l'angle de convergence* varient simultanément quand nous passons du point le plus proche au plus lointain. Nous disons que ces deux grandeurs *se correspondent* constamment.

De plus et surtout, en contemplant le point le plus rapproché, *nous ne voyons pas nettement* le point le plus éloigné, et *vice versâ*.

Lorsque, au contraire, on vient à remplacer la règle par ses deux perspectives, l'accommodation doit toujours se faire sur le plan des images ; *nous voyons avec la même netteté* et simultanément les deux points extrêmes ; l'accommodation reste fixe et ne peut pas correspondre constamment à l'angle de convergence, qui varie.

S'il n'existait pas de tolérance dans l'accommodation, c'est-à-dire si on ne pouvait pas trouver deux points situés à des distances différentes de l'œil telles qu'en regardant l'un, l'autre paraisse encore net, la dimension en profondeur de l'objet reconstitué devrait être nulle ; l'objet devrait se réduire à un plan de front et la stéréoscopie n'existerait pas. — Mais cette tolérance existe et ce sont ses limites que nous allons rechercher.

Pour cela, remarquons que lorsque l'œil est

accommodé sur le point A (fig. 17), situé à une distance $d$, le point B, situé au delà du point A et à une distance $p$ de celui-ci, donnera sur la rétine une sorte d'image circulaire. Tant que le diamètre de cette image reste inférieur ou égal à une certaine longueur suffisamment petite $\varepsilon$, nous avons du point B une perception nette ($\varepsilon$ est le diamètre du *cercle de confusion tolérée*).

Soit : $a$ la distance du point nodal d'émergence à la rétine;

$b$, celle du même point au foyer conjugué de B;

$o$, le diamètre de la pupille;

Le diamètre $\varepsilon$ de l'image circulaire de B a pour expression.

$$\varepsilon = o \times \frac{a - b}{b} \qquad [1]$$

Supposons $o$ constant; $a$ l'étant aussi, pour que $\varepsilon$ le soit, ont doit avoir

$$b = \text{constante}.$$

La formule ordinaire des lentilles qui lie entre elles les distances des points conjugués aux points nodaux donne l'égalité

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d + p} = \frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{k_1}, \qquad [2]$$

$k_1$ étant une constante à déterminer par l'expérience au lieu de $\varepsilon$.

Si, au lieu d'accommoder sur A on accommodait sur B (fig. 18), on aurait l'équation de condition

$$\varepsilon = o \times \frac{a'-b'}{b'} = o \times \frac{a'-a}{a}, \qquad [1\ bis]$$

puisque $b' = a$, et la relation

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d+p} = \frac{1}{b'} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{a} - \frac{1}{a'} = \frac{1}{k_2} \quad [2\ bis]$$

$k_2$ étant aussi une constante à déterminer. Cherchons sa valeur en fonction de $k_1$. Les égalités [1] et [1 *bis*] donnent

$$a^2 = a'b;$$

d'où,

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{a}{b} \qquad [3]$$

Pour déterminer expérimentalement $k_1$, le moyen le plus simple est le suivant.

On fixe deux cheveux en croix dans deux plans différents, comme deux fils croisés d'un réticule placés notablement l'un derrière l'autre, et on mesure leur distance $p$. Fermant un œil, de l'autre on regarde le point de croisement apparent des deux cheveux. On constate alors, si l'on est assez loin, que les cheveux paraissent dans un même plan et qu'on ne peut savoir si on accommode sur l'un ou sur l'autre. On se rapproche lentement jusqu'à ce qu'on s'aperçoive qu'en accommodant sur le premier, l'autre commence à perdre de sa

netteté. On mesure alors la distance $d$ de l'œil au premier cheveu. On introduit ces valeurs particulières de $p$ et de $d$ dans la formule [2] qui donne $k_1$ et devient désormais applicable.

Faisant l'expérience, nous avons trouvé $d = 30$ *cent.* (à $\frac{1}{20^e}$ près tout au plus), pour $p = 3$ *cent.*; ce qui donne $k_1 = 330$ *cent.* (à $\frac{1}{10^e}$ près tout au plus).

Supposant exacte cette valeur de $k_1$ et faisant $a = 2$ *cent.*, on trouve

$$\frac{k_2}{k_1} = 1 + \frac{1}{165}$$

On voit par là que les deux valeurs $k_1$ et $k_2$ étant dans un rapport très voisin de l'unité, ne doivent pas être distinguées pratiquement. Aussi les confondrons-nous sous la lettre unique $k$ et écrirons-nous la relation générale

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d+p} = \frac{1}{k} = \frac{1}{330 \text{ cent.}} \qquad [4]$$

On peut remarquer que $d = k$ pour $p = \infty$. $k$ est donc la distance la plus proche à laquelle on puisse voir nettement un point en accommodant pour l'infini ; c'est la *distance hyperfocale* relative à l'œil.

De là un autre procédé expérimental pour déterminer $k$.

Quand on veut calcuter $p$ connaissant $d$, il est commode de mettre la relation [4] sous une des deux formes suivantes :

$$p = d\left(\frac{k}{k-d} - 1\right) \qquad [5]$$

$$p = \frac{d^2}{k-d} \qquad [5\ bis]$$

Mais il sera plus commode encore dans la pratique de construire une table de quelques valeurs correspondantes de $p$, de $d$ et de $\frac{p}{d}$, table qu'on n'aura plus qu'à consulter (Voir Table I à la fin).

On a bien compris, espérons-nous, que si, au stéréoscope, l'objet *reconstitué* dont le plan de front le plus proche est à la distance $d$ de l'observateur, possède une dimension en profondeur au plus égale à la valeur de $p$ correspondant à $d$; si, de plus, les images (généralement rendues virtuelles par l'interposition de miroirs, de prismes ou de lentilles) sont *dans un même plan* et placées à une distance comprise entre $d$ et $d + p$, l'accommodation pourra *suivre constamment* l'angle de convergence correspondant à chaque point de l'objet, sans qu'il en résulte trouble, fatigue ou défaut d'illusion.

Il est bon d'observer qu'au degré d'approxima-

tion où il est permis de confondre les sinus et les tangentes avec les arcs, *la variation de l'angle visuel,* quand on passe de $d$ à $d + p$, est constante, absolument comme la variation de l'accommodation. Or les choses se passent comme si la sensation du relief était due à cette variation de l'angle visuel. On peut donc en quelque sorte dire que l'intensité du relief *total* est la même quelle que soit la dimension absolue de l'objet reconstitué, pourvu qu'il occupe toute la profondeur $p$ correspondant à $d$. Mais la répartition de cette intensité le long d'une droite en profondeur n'est pas la même quel que soit $p$ ou, autrement dit, quel que soit $d$ : cette répartition est d'autant plus régulière et uniforme que $d$ est plus petit. — Expliquons notre pensée par un exemple.

Soit un objet reconstitué dont le premier plan est à 3ᵐ30 (= $d$) et le dernier à l'infini ; il occupe bien toute la valeur de $p$ correspondant à $d$ ; mais le relief se fera surtout sentir dans les premiers plans pour décroître et devenir insensible aux derniers, c'est-à-dire à l'infini.

Soit, au contraire, un objet reconstitué dont le premier plan est à 30 cent. (= $d$) et le dernier à 33 cent. (= $d + p$). Comme le précédent, il occupe toute la valeur de $p$ (= 3 c.) correspondant à $d$ ;

mais ici le relief se fera sentir aussi bien dans les derniers plans que dans les premiers.

Cependant le relief *total* s'impose *également* dans les deux cas.

RÈGLE DU PLAN UNIQUE.

Nous avons parlé plusieurs fois de la nécessité de placer ou d'amener les images stéréoscopiques dans un même plan. Cette nécessité provient de ce que, si elles n'y étaient pas, les deux yeux n'accommoderaient pas comme sur un point unique, ce qui est contraire à la pratique de la vision ordinaire.

Sans doute, en vertu de la latitude d'accommodation dont nous venons de nous servir, il existe une latitude égale dans l'application de *la règle du plan unique;* mais alors la profondeur disponible à accorder à l'objet reconstitué diminue de l'intervalle même des deux plans, s'ils sont parallèles, et d'une quantité variable avec la distance à leur intersection, s'ils se coupent.

Beaucoup de personnes peuvent, après un entraînement convenable, donner à l'accommodation et à la convergence des valeurs qui sont loin de se correspondre : à tel point qu'on peut arriver à accommoder pour 30 cent. en maintenant parallèles ou même divergents les axes des yeux. Mais ce que,

croyons-nous, on ne peut obtenir, c'est de faire varier brusquement la convergence en maintenant constante l'accommodation et *vice versâ*. L'indépendance des *variations* extrêmement rapides paraît impossible.

Quelques personnes, du reste, sont rebelles même à l'indépendance des *valeurs principales* de l'accommodation et de la convergence; c'est ce qui nous a permis de poser implicitement comme règle stéréoscopique le théorème de la page 10.

Nous conseillons cependant à ceux qui se proposent de regarder souvent des épreuves stéréoscopiques de se livrer à l'entraînement qui donne l'indépendance des valeurs principales de l'accommodation et de la convergence; ils y gagneront de pouvoir souvent se passer des lentilles destinées à rétablir la concordance, lentilles dont l'usage est toujours incommode.

---

# CHAPITRE CINQUIÈME

## APPLICATIONS

---

Nous sommes maintenant en mesure de résoudre tous les problèmes qui peuvent se présenter, dans la pratique stéréoscopique. La seule difficulté est de *bien savoir ce qu'on se propose* et de quelles quantités on peut disposer.

Nous ne saurions trop engager les opérateurs qui désirent faire largement et méthodiquement de la stéréoscopie à ne pas se lier par avance en rendant fixes des quantités qui peuvent rester variables, comme l'intervalle $\Delta$ des objectifs, la distance $f'$ (= O V) des épreuves aux yeux dans le stéréoscope, la grandeur absolue des images, leur champ angulaire, la distance qui sépare leurs deux points principaux, etc., etc. La grandeur des images et leur distance ont été malheureusement fixés par le CONGRÈS qui ne semble pas en cela avoir eu des visées bien hautes.

Tout ce que nous avons dit précédemment à partir de la page 17 et ce que nous dirons par la suite suppose que les épreuves sont prises *dans un*

*même plan*. Il faudra donc prendre ses dispositions, si on emploie des chambres séparées, pour que les glaces sensibles soient placées dans un même plan, ou au moins dans deux plans *parallèles très voisins*. La manière d'obtenir ce résultat dépend des circonstances et change suivant que les chambres sont distantes de plusieurs centaines de mètres ou de quelques centimètres seulement. Chacun cherchera celle qui lui convient d'après le genre de stéréoscopie auquel il se livre.

Cela posé, les diverses grandeurs à considérer sont :

$\Delta$, l'intervalle des objectifs, variable à volonté, au moins quand on emploie deux chambres distinctes;

$\delta$, l'intervalle des yeux que nous évaluerons en moyenne à 6 cent. en France et à 7 cent. en Angleterre;

D, la distance aux objectifs du premier plan de front du sujet;

*d*, la distance aux yeux du premier plan de front de l'objet reconstitué, qui ne peut être inférieure à la distance *minimum* de la vision distincte ;

P, la dimension en profondeur du sujet, ou la distance qui sépare ses deux plans de front extrêmes ;

$p_0$, la dimension en profondeur de l'objet reconstitué, valeur qui doit être au plus égale à $p$ donné en fonction de $d$ par les formules ou la table I.

Ces six grandeurs sont liées par les relations fondamentales

$$\frac{D}{d} = \frac{P}{p_0} = \frac{\Delta}{\delta};$$

$f' = OV$, foyer conjugué de l'objectif employé (longueur principale des perspectives) ;

$O_1 V_1$, distance aux yeux des épreuves qu'on regarde au stéréoscope.

Ces deux quantités doivent toujours être égales :

Examinons quelques cas particuliers que nous choisirons, autant que possible, dans les cas limites.

### 1. Paysage.

P étant infini, $p_0$ l'est aussi ; d'où (v. table I).

$$d \geqq 3^m30$$

On peut se proposer deux choses extrêmes : 1° ou bien donner l'illusion de ce qu'on voit soi-même du point où l'on est placé, et c'est là le seul but auquel certains opérateurs habiles ont cru pouvoir viser ; 2° ou bien produire une reconstitution dans laquelle le relief s'impose le plus possible, par exemple dans la stéréoscopie documentaire ou scientifique.

*Dans le premier cas*, le rapport d'homologie est 1.

Les objectifs seront séparés de 6 ou 7 cent. puisque $\Delta = \delta$.

Le 1er plan du sujet sera au moins de 3m30.

Les lentilles du stéréoscope devront renvoyer les images de la distance $f'$ où elles seront placées à 3m30 ou au delà (v. p. 36 alinéa 3).

On conservera aussi bien que possible les effets de la perspective aérienne.

*Dans le second cas*, on devra faire la base $\Delta$ aussi grande que possible ; mais puisque

$$\frac{\delta}{d} \geq \frac{6,5}{330} = \frac{1}{50},$$

on fera

$$\frac{\Delta}{D} = \frac{1}{50}$$

On prendra donc pour *base* ou intervalle des objectifs le $\frac{1}{50^e}$ de la distance de la base au premier plan de front du sujet (1).

Mais il convient d'atténuer alors le plus possible les effets de la perspective aérienne en employant des plaques orthochromatiques sensibles au jaune et au vert, avec interposition d'un écran orangé

(1) Nous avons opéré récemment avec des bases de 120m, le premier plan étant à 6 kil. La reconstitution ne laisse rien à désirer au double point de vue de l'exactitude géométrique et de l'illusion : le relief s'impose infiniment plus qu'en présence de la nature.

assez foncé. Outre la netteté des détails qui en résulte, on comprend, en effet, que l'objet reconstitué paraissant être, en quelque sorte, un plan en relief parfait placé à 3ᵐ30, ne comporte pas d'effet de perspective aérienne.

Si, par suite de circonstances particulières, P n'est pas infini et peut être connu, on rentre dans le cas suivant [3°].

### II. Objets de profondeur finie et mesurable P, dont on peut s'approcher ou s'éloigner à volonté.

#### 1° On désire une reconstitution grandeur naturelle.

P = $p_0$. On cherche dans la table $p_0$ (= P) à la colonne *p;* la valeur de *d* qui lui correspond indique la plus petite distance où l'on puisse se placer et celle qu'il convient de prendre pour que le relief s'impose le plus possible. Si *d* est inférieur à 30 cent., on prendra cette dernière valeur. La distance $\Delta$ des objectifs sera égale à l'intervalle des yeux $\delta$.

#### 2° Ne tenant pas a l'égalité, mais seulement a la similitude, on désire que le relief soit le plus vif et le mieux réparti possible.

Alors il faut faire $\frac{\delta}{d}$ le plus grand possible, soit $\frac{1}{5}$ (c'est-à-dire *d* le plus petit possible. V. page 37).

*d* étant de 30 cent., la table I donne pour profondeur *maximum p* de l'objet reconstitué, 3 cent.

La profondeur du sujet étant P, on tire la valeur de D de la relation

$$\frac{D}{d} = \frac{P}{p}, \text{ d'où } D = 10\ P.$$

La base Δ sera donnée par $\frac{\Delta}{\delta} = \frac{D}{d} = \frac{P}{p}$ ou $\Delta = \frac{D}{5} = 2\ P$.

3° S'IL EST IMPOSSIBLE DE MODIFIER LA DISTANCE DES CHAMBRES A L'OBJET, comme il arrive souvent quand on fait du *paysage*, on calculera $\frac{P}{D}\left(=\frac{p}{d}\right)$, et, cherchant $\frac{p}{d}$ dans la table I, on trouvera en regard la valeur de *d* qui lui correspond. On sait alors que la *reconstitution* du premier plan doit se faire à cette distance *d*. Le rapport de cette grandeur à l'intervalle des yeux δ donne le rapport de D à l'intervalle Δ des chambres; c'est cette dernière quantité qu'on cherche.

Exemple : le premier plan est à 2 kil. (= D); le sujet a une profondeur de 1 kil. (= P); de combien peut-on écarter les chambres ?

Ici $\frac{p}{d} = \frac{P}{D} = \frac{1}{2}$; la table I donne $d = 1^{m}10$.

L'intervalle *maximum* des chambres $\Delta = D\frac{\delta}{d} =$ $2000^m \times \frac{0{,}065}{1{,}10} = 118^m$ ou en chiffres ronds $120^m$.

Il faudra avoir soin de considérer comme sujet *tout* ce qu'on se propose de conserver sur les épreuves, même les nuages, s'il y en a; mais on peut ne pas tenir compte d'un ciel uni qui ne produit pas de relief stéréoscopique, parce qu'il ne donne pas de repères pour l'identification des points correspondants.

### III. Photomicrographie stéréoscopique.

On n'aura pas en général à tenir compte de la dimension en profondeur du sujet, l'objet reconstitué ayant toujours une profondeur inférieure à 3 cent. Il suffira donc de connaître l'angle dont le tube doit être déplacé par rapport à la préparation quand on passe de l'une à l'autre épreuve; c'est l'angle des yeux regardant un point à 30 cent. On commet alors la faute relevée page 28 ; mais 1° le champ est faible; 2° on ne tient pas à une reconstitution rigoureusement semblable au sujet; 3° enfin, il n'y a guère moyen de faire autrement.

# CHAPITRE SIXIÈME

## LE STÉRÉOSCOPE (1)

Il ne sert de rien d'avoir produit correctement des épreuves, si on ne sait les examiner.

Nous répèterons encore une fois que ces épreuves ou leurs images égales doivent être placées à la distance $f'$ des yeux, tandis que l'avant plan de l'objet reconstitué sera à la distance $d$.

Plusieurs cas peuvent se présenter :

Si $f' = d$ et si les épreuves sont séparément imprimées sur papier ou sur verre, on ne pourra obtenir la superposition qu'en remplaçant les épreuves par des images virtuelles de même grandeur. On peut y arriver soit au moyen de *miroirs plans* (stéréoscope DE WHEATSTONE), ou *de prismes à réflexion totale* (stéréoscope de GIRAUD-TEULON), soit au moyen de *prismes ordinaires;* mais l'emploi de ces derniers n'est pas à recommander.

(1) Pour la description des divers stéréoscopes V. F. DROUIN. Le Stéréoscope et la Photographie stéréoscopique. *Paris, Mendel 1894.*

Au lieu d'imprimer les deux épreuves droite et gauche sur feuilles distinctes, on peut superposer leurs impressions en employant pour chacune une couleur différente (**anaglyphes** de M. **Ducos du Hauron**). On examine ce couple d'épreuves en regardant à travers deux écrans diversement colorés, un pour chaque œil. La condition à réaliser dans l'emploi des couleurs d'impression et des écrans transparents est la suivante : l'épreuve *droite*, dont les *ombres* sont imprimées en couleur sur fond blanc, doit être *invisible* à travers l'écran *gauche*, qui ne doit laisser passer que l'effet d'un tableau uniformément *éclairé* et teinté; elle doit, au contraire, paraître vigoureuse à travers l'écran *droit*. De même pour l'épreuve *gauche*, qui ne pourra être vue qu'à travers l'écran *gauche*, et disparaîtra *en clair* à travers l'écran *droit*. Il n'est pas nécessaire que les couleurs soient complémentaires : il vaut même souvent mieux qu'elles ne le soient pas.

On peut aussi superposer les images en les projetant sur un écran diffusant ; alors il faudra encore employer les dispositifs spéciaux pour que chaque œil ne reçoive que l'image qui lui est destinée.

On pourra, par exemple, éclairer chaque épreuve transparente avec une lumière ne contenant que

des radiations différentes de l'autre et trier les deux images projetées au moyen de verres teintés ne laissant passer que les radiations qui conviennent (méthode D'ALMEIDA). Au contraire des anaglyphes, les images sont produites sur le tableau par de la *lumière* colorée avec *ombres noires*. Une de ces images, examinée à travers le verre qui ne lui correspond pas, doit être comme un tableau *noir*.

On peut aussi éclairer chaque épreuve avec de la lumière blanche polarisée à 90° de l'autre et trier avec deux analyseurs (méth. JOHN ANDERSON).

On pourra enfin projeter alternativement les deux images droite et gauche à intervalles de temps très rapprochés et, au moyen d'un dispositif convenable, mettre synchroniquement un écran opaque devant l'œil qui ne doit pas recevoir l'image produite à cet instant (appareil à *éclipses*, syst. D'ALMEIDA et STROCH).

Si $f'$ est différent de $d$, il faudra forcément interposer entre l'œil et l'image une lentille *convergente* ou *divergente* qui transforme cette image en une autre semblable située à la distance $d$ (p. 36); mais il est possible alors, sous certaines conditions, de supprimer les appareils réfléchissants, même dans le cas où l'image ne serait pas projetée. Soit $f' < d$. La distance $aa'$ (fig. 19) de deux

points correspondants du point A situé à la distance $d$ est

$$aa' = \delta \frac{d-f'}{d}$$

c'est-à-dire non nulle. On pourra accoler deux épreuves dont la plus grande dimension transversale soit *aa'*. Mais alors la largeur des épreuves est forcément très limitée et au plus égale à $\delta$ pour $d = \infty$. C'est ainsi qu'on se sert du stéréoscope ordinaire du commerce.

Lorsque $f' > d$, il faut intervertir la position des épreuves qu'on placera en X et X' (fig. 20). On devra alors faire usage de lentilles *divergentes*. La dimension absolue des épreuves X et X' pourra être assez grande, mais leur dimension angulaire $\alpha$ sera forcément restreinte.

**Notre stéréoscope.**

L'appareil auquel nous accordons la préférence est analogue au *télestéréoscope*, et formé comme lui de quatre miroirs métalliques plans *m*, *m'*, M, M' (fig. 21) parallèles deux à deux. Les miroirs M et M' peuvent glisser le long de deux supports A B, ce qui permet de faire varier leur distance aux deux autres et de produire tel déplacement latéral qu'on désire des images $X_1$, $X'_1$ par rapport aux épreuves X et X'. Ce déplacement est

égal pour chacune à l'intervalle des miroirs parallèles multiplié par $\sqrt{2}$; en même temps les images sont reportées en arrière des épreuves de la même quantité (1). L'angle embrassé peut facilement atteindre 50° et on y examine sans peine des couples d'épreuves dont chacune mesure $13^c \times 18^c$ produites avec des objectifs de 20 cent. de foyer et placées soit en hauteur, soit en travers, ce qui fait au total $13^c \times 36^c$ ou $18^c \times 26^c$. Ce format et ce foyer sont très convenables en *photogrammétrie* et nous les recommandons tout particulièrement. Le système de lentilles est constitué par une série de besicles dans laquelle on puise le numéro qui convient et dont on arme son nez : il en résulte simplicité et économie. Ce stéréoscope est réalisé, sur nos indications, par M. Ph. Pellin, constructeur bien connu d'instruments d'optique pour les sciences, 21, rue de l'Odéon, Paris.

La figure imprimée sur la couverture de cet ouvrage représente le *modèle d'étude* ou de cabinet.

(1) Une graduation inscrite sur les supports donne en centimètres la valeur de ce déplacement.

## CHAPITRE SEPTIÈME

# DÉTAILS PRATIQUES

### POUR L'EXAMEN DES ÉPREUVES A RELIEF EXACT

---

Les épreuves à examiner doivent *forcément* être accompagnées des renseignements qui rappellent la manière dont elles ont été prises. Il faut connaître en particulier :

1° La longueur focale conjuguée $f'$ des objectifs employés. S'il y a eu agrandissement ou réduction, c'est la longueur focale conjuguée de l'objectif qui aurait directement fourni les épreuves de la dimension définitive qu'il faut connaître. — *Exemple :* Nous avons sous les yeux un couple de photographies de la lune de 7 cent. de diamètre ; il aurait fallu un objectif de 8 mètres environ de longueur focale pour donner directement ces épreuves ; en réalité, elles ont été prises avec un télescope de foyer beaucoup plus court et agrandies ensuite.

2° La position des points principaux (1) qui, en général, ne sont pas au centre des images. Dans l'exemple ci-dessus, ils sont placés à environ 80 centimètres en dehors, en supposant, bien entendu, que les plaques sensibles fussent dans le même plan.

3° Le rapport $\frac{\Delta}{D}$ entre l'écartement des points de vue ou des objectifs et leur distance au premier plan de front du sujet.

Ces données étant supposées connues, l'observateur mesurera une fois pour toutes l'écartement de ses yeux $\delta$. Puis il calculera la distance $d$ du premier plan de front de l'*objet reconstitué;* pour cela il multipliera l'intervalle de ses yeux par l'*inverse* du rapport $\frac{\Delta}{D}$ mentionné sur l'épreuve. — *Exemple :* Le rapport $\frac{\Delta}{D}$ étant supposé égal à $\frac{1}{25}$; $\delta$ étant de $6^c,4$; le 1er plan de front se reconstituera à $6^c,4 \times 25 = 1^m\,60$.

Les épreuves devant être placées, non pas à

(1) Un moyen pratique, presque toujours réalisable, consiste à faire impressionner la plaque sensible, au moment de la pose, par 4 appendices situés sur les bords et suivant l'objectif dans ses divers décentrages. La droite qui joint deux de ces repères indique *la ligne d'horizon principale,* dont l'intersection avec la droite qui joint les deux autres repères donne *le point principal.*

1 m 60 des yeux, mais à la distance $f'$, il faut maintenant chercher de quels verres on fera usage pour que les valeurs principales de l'accommodation et de l'angle visuel se correspondent.

*Si la vue de l'observateur est normale*, la table II à double entrée donne, sans calcul, le n° qui convient.

On choisira donc dans la série de besicles que l'on possède le n° qui correspond au cas considéré, en ayant soin de prendre un n° plus élevé de verres convergents — (distance focale plus grande, verres plus faibles) et un n° plus bas de verres divergents (distance focale plus petite, verres plus forts), lorsqu'il y a hésitation ou pénurie.

*Si l'observateur est myope ou presbyte*, il doit encore tenir compte de la nature de sa vue. Il pourrait à la rigueur superposer deux verres : 1° celui qu'il a l'habitude de porter pour voir nettement et sans fatigue un objet placé à la distance $d$ ; 2° celui qui est déterminé par la table II. Mais il vaut mieux prendre d'emblée le n° qui convient et qui est donné par la table III.

Jusqu'ici il n'est pas encore question du stéréoscope ; c'est maintenant qu'il va falloir le choisir et le régler. Deux cas peuvent se présenter.

1er cas. — Les épreuves sont telles qu'on peut rapprocher leurs points principaux à la distance $\delta$. C'est ce qu'on fera. Il suffira alors de les mettre sur un même plan à une distance des yeux égale à $f'$ et de les regarder avec les besicles indiquées ci-dessus. On devra se mettre à la hauteur de la ligne d'horizon principale. On pourra, si l'on veut, poser verticalement une cloison noircie qui empêche l'œil droit de voir l'image de gauche et *vice versâ*. On pourra aussi entourer les épreuves et les yeux d'une paroi opaque qui s'oppose à l'introduction de tout rayon inutile; adapter un miroir pour éclairer de face les épreuves sur papier; mettre un verre opale et des lampes pour l'éclairage commode et uniforme des épreuves transparentes; ajouter à ceci un mécanisme plus ou moins compliqué pour faire passer rapidement devant les yeux un grand nombre d'épreuves : tout cela facilitera la manœuvre et rendra l'examen plus attrayant, mais n'ajoutera rien à l'intensité ni à l'exactitude du relief.

2e cas. — Les épreuves sont trop grandes pour qu'il soit possible de rapprocher les points principaux à une distance égale à l'intervalle des yeux. Ici il est de toute nécessité de transformer les

épreuves en images virtuelles. — *Un stéréoscope devient nécessaire.*

Ayant préconisé l'usage du stéréoscope à deux couples de miroir parallèles par la raison qu'il est réglable à volonté et peut embrasser un grand champ angulaire sans déformation ni défaut d'achromatisme, nous ne nous occuperons ici que de l'emploi de cet instrument. Un cas particulier fera facilement voir comment on s'en sert.

Supposons, comme ci-dessus, les yeux écartés de $6^c,4$; Les points principaux sont, par exemple, écartés de $18^c$. Pour être ramenés à la distance de $6^c,4$, ils doivent être rapprochés par l'appareil de $18^c—6^c,4$ ou de $11^c,6$. Chaque couple de miroirs devra donc produire un déplacement égal à $\frac{11^c,6}{2}$ ou $5^c,8$. On mettra, en conséquence, les grands miroirs mobiles à la division 5, 8. Autrement dit, *de la moitié de l'écartement des points principaux retranchez la moitié de l'intervalle des yeux; la différence, évaluée en centimètres, est le n° de la division où vous placerez les miroirs mobiles.* —

C'est tout ce qu'il y a à faire pour le réglage du stéréoscope.

Il ne reste plus qu'à placer les épreuves à la distance convenable. — Supposons que la distance

principale $f'$ (distance focale conjuguée des objectifs employés), soit de 21$^c$. On placera les épreuves à 21$^c$—5$^c$,8 ou 14$^c$,2 des yeux, cette distance étant mesurée en ligne droite, comme si le stéréoscope n'existait pas. Le stéréoscope dont il s'agit n'a pas seulement pour effet de *déplacer latéralement* les images de 5$^c$,8, il les *éloigne* aussi de la même quantité. En procédant comme il vient d'être dit, les images virtuelles produites par les miroirs plans et *égales aux épreuves*, sont bien, comme il convient, situées à 21 c. des yeux.

Alors, muni des bésicles dont le n° a été trouvé ci-dessus, il suffira de regarder en mettant ses yeux dans le plan d'horizon principal.

En mettant les épreuves côte à côte, il faudra avoir bien soin de faire coïncider les lignes d'horizon principales, qui pourront être, pour plus de commodité, parallèles au bord inférieur du carton.

---

# TABLE I

*Valeurs correspondantes de* d *de* p *et de* $\frac{p}{d}$.

| d | p | $\frac{p}{d}$ | d | p | $\frac{p}{d}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 3$^{m}$30 | infini | infini | o$^{m}$55 | o$^{m}$11 | $\frac{1}{5}$ |
| 3 » | 30$^{m}$ » | 10 | 0,47 | 0,08 | $\frac{1}{6}$ |
| 2,50 | 7,80 | 3 | 0,41 | 0,06 | $\frac{1}{7}$ |
| 2 » | 3,08 | 1,5 | 0,367 | 0,045 | $\frac{1}{8}$ |
| 1,75 | 1,90 | — | 0,33 | 0,037 | $\frac{1}{9}$ |
| 1,65 | 1,65 | 1 | 0,30 | 0,03 | $\frac{1}{10}$ |
| 1,50 | 1,25 | — | 0,275 | 0,025 | $\frac{1}{11}$ |
| 1,25 | 0,76 | — | 0,254 | 0,021 | $\frac{1}{12}$ |
| 1,10 | 0,55 | $\frac{1}{2}$ | 0,236 | 0,018 | $\frac{1}{13}$ |
| 1 » | 0,45 | — | 0,22 | 0,016 | $\frac{1}{14}$ |
| 0,83 | 0,27 | $\frac{1}{3}$ | 0,206 | 0,014 | $\frac{1}{15}$ |
| 0,66 | 0,17 | $\frac{1}{4}$ | 0,194 | 0,012 | $\frac{1}{16}$ |

Cette table, dressée au moyen de la formule [4], page 35, a été prolongée jusqu'à la valeur de *d* égale à 19c4, beaucoup de gens voyant nettement encore à cette distance; elle contient un nombre de degrés superflu pour la pratique courante.

Ses usages en sont expliqués au chapitre V — *Applications.*

# TABLE II

| d = | 20ᶜ | 30ᶜ | 40ᶜ | 50ᶜ | 1ᵐ | 2ᵐ | 3ᵐ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| f = 5» | + 3 | + 2,5 | + 2,5 | + 2,5 | + 2 | + 2 | + 2 |
| = 7,5 | + 5 | + 4 | + 4 | + 4 | + 4 | + 4 | + 3 |
| = 10,» | + 8 | + 5 | + 5 | + 5 | + 4,5 | + 4,5 | + 4 |
| = 12,5 | + 14 | + 9 | + 8 | + 7 | + 6 | + 5 | + 5 |
| = 15,» | + 24 | + 12 | + 10 | + 9 | + 7 | + 7 | + 6 |
| = 20,» | rien | + 24 | + 16 | + 10 | + 10 | + 9 | + 8 |
| = 30,» | — 24 | rien | rien | + 30 | + 20 | + 14 | + 12 |
| = 40,» | — 16 | rien | rien | rien | + 30 | + 20 | + 16 |
| = 50,» | — 10 | — 30 | rien | rien | + 40 | + 30 | + 20 |
| = 1ᵐ» | — 10 | — 20 | — 30 | — 40 | rien | rien | + 40 |

Voir usage page 54.

Les numéros indiqués dans cette table sont ceux du commerce donnant la distance focale *en pouces*.

Le signe (+) indique des verres convergents, ou de presbytes ;

Le signe (—) indique des verres divergents ou de myopes.

# TABLE III

*donnant le n° de la lentille équivalente à la superposition de deux autres*

| Numéros à combiner | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 2,5 / rien | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4,5 | 5 |
| 6 | 30 | 3 / rien | 3 | 3 | 4 | 4 | 4,5 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 18 | 40 | 3,5 / rien | 4 | 4 | 4,5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| 8 | 14 | 24 | rien | 4 / rien | 4,5 | 5 | 5 | 6 | 6,5 | 7 |
| 10 | 10 | 15 | 23 | 40 | 5 / rien | 5,5 | 6 | 7 | 8 | 8 |
| 12 | 9 | 12 | 17 | 24 | rien | 6 / rien | 7 | 7,5 | 9 | 9 |
| 16 | 8 | 10 | 13 | 16 | 26 | rien | 8 / rien | 9 | 10 | 11 |
| 20 | 7 | 9 | 11 | 14 | 20 | 30 | rien | 10 / rien | 12 | 13 |
| 30 | 6 | 8 | 9 | 11 | 15 | 20 | 40 | rien | 15 / rien | 17 |
| 40 | 6 | 7 | 9 | 10 | 13 | 17 | 30 | 40 | rien | 20 / rien |

Région servant aux lentilles de signes contraires

Région servant aux lentilles de même signe.

Le tableau est divisé en deux régions par une diagonale. La région *en haut et à droite* sert pour la combinaison de deux lentilles de même signe, c'est-à-dire toutes deux convergentes ou toutes deux divergentes; la région *en bas et à gauche* sert à combiner deux lentilles de signes différents.

Le *signe* de la lentille résultante est toujours celui de la lentille composante qui a *le plus faible numéro.*

Planche 1.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

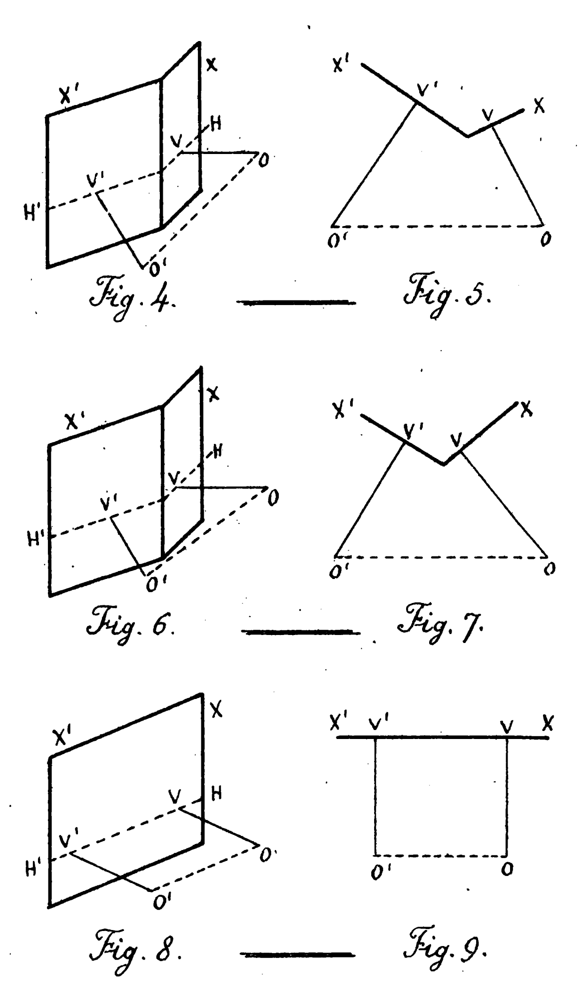



Fig. 4. — Fig. 5.

Fig. 6. — Fig. 7.

Fig. 8. — Fig. 9.

Planche III.

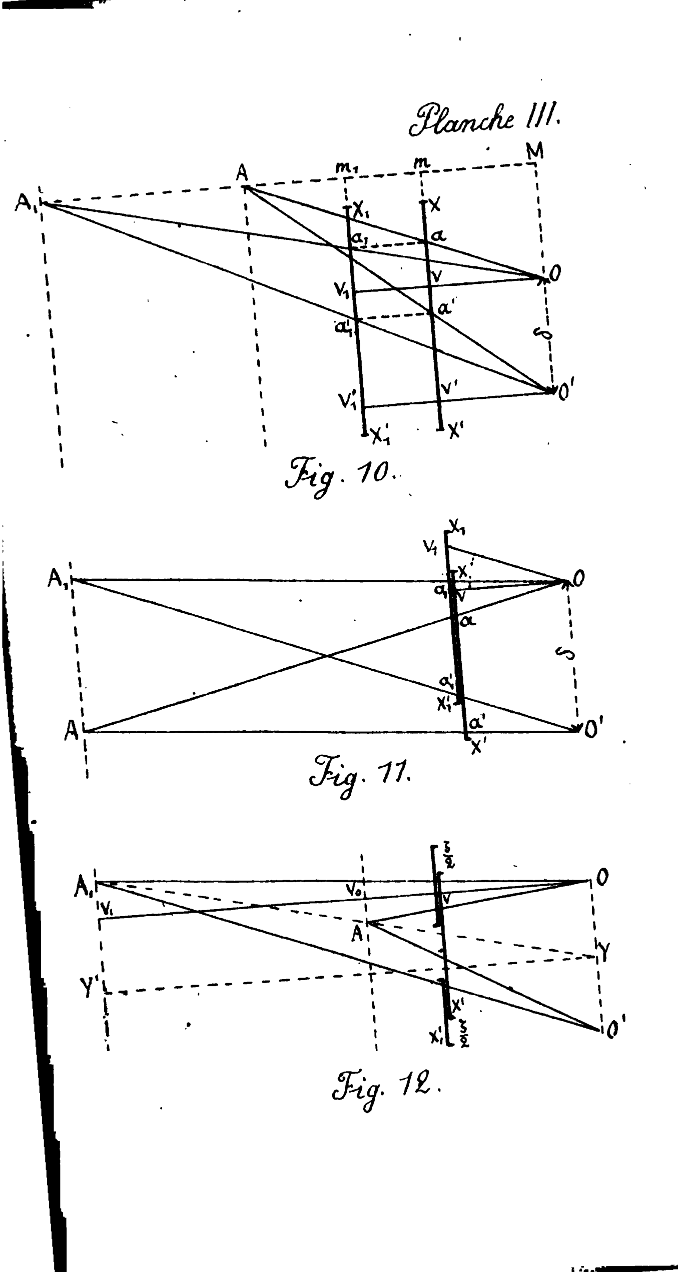



Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

Planche IV.

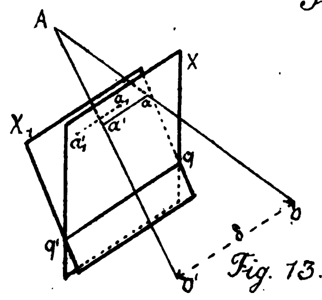



Fig. 13.

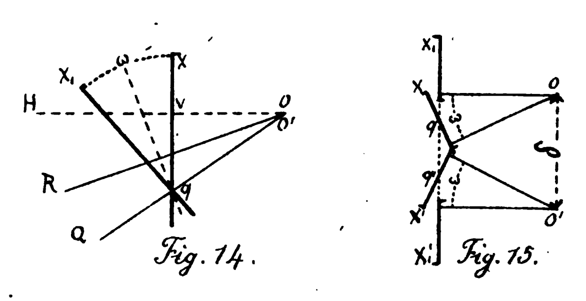



Fig. 14.

Fig. 15.

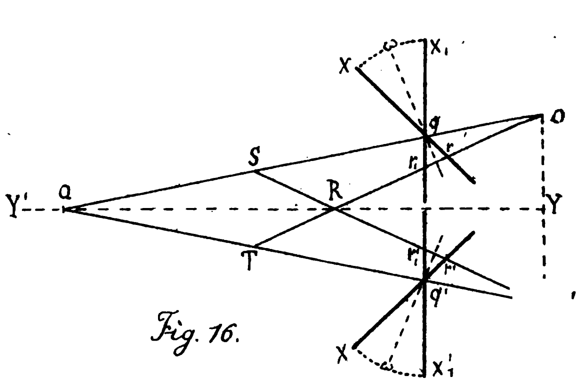



Fig. 16.

Planche V.

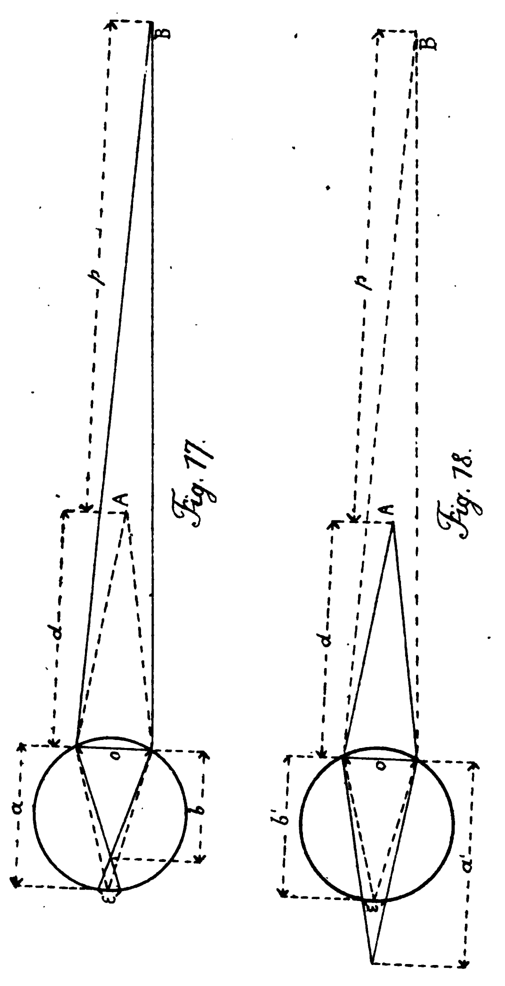



Fig. 77.

Fig. 78.

Planche VI.

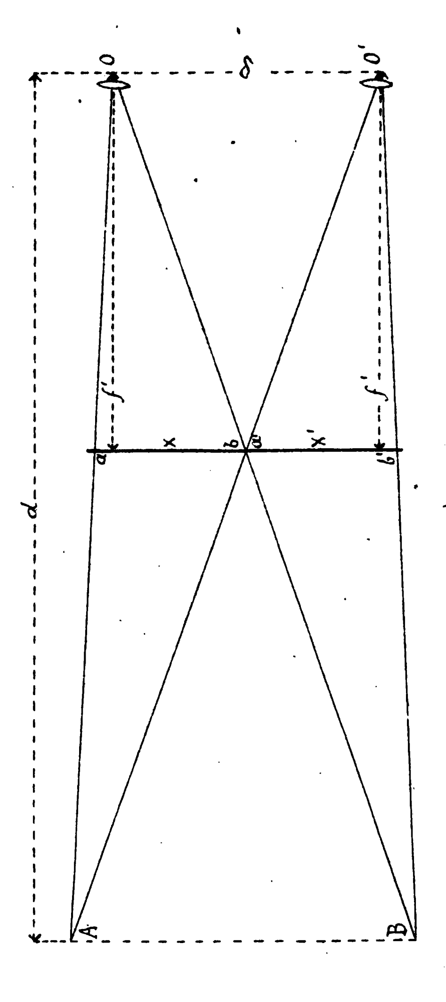



Fig. 19.

Planche VIII.

Fig. 20.

*Planche VIII.*

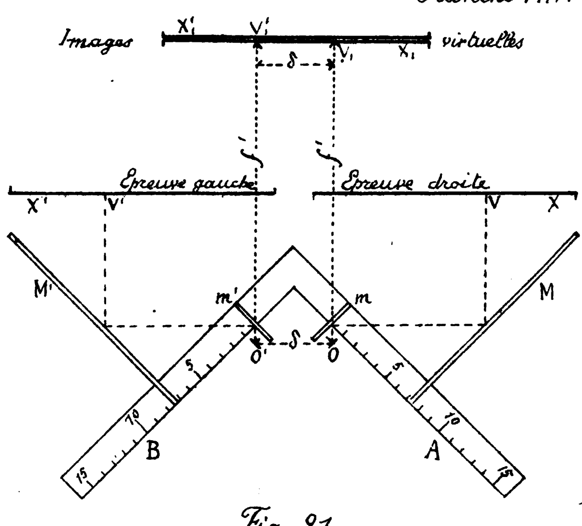



*Fig. 21.*
*(Le Stéréoscope)*

# TABLE DES MATIÈRES

## APPENDICE



## FIGURES

**Chapitre II. — Appareils divers de projection. Accessoires.**

*Microscope solaire et photoélectrique. — Cônes de projection, modèle perfectionné* de **J. Duboscq.**

*Polyorama. — Mégascope. — Appareil de projection pour les corps placés horizontalement.*

**Chapitre III. — Photométrie. — Théorie. — Unités diverses. — Unité étalon. — Mesure des intensités.**

*Photomètres* **Rumford, Bunsen, Foucault, (Foucault-Violle), Bouguer, Wheatstone, M. Cornu, M. Mascart, M. Broca, M. Janssen, MM. Mascart-Pellin.** — *Microphotomètre* de **M. Cornu.** — *Diaphragme Photométrique pour le degré d'incandescence de* **M. Crova.**

*Photomètres à polarisation* **Babinet, Ed. Becquerel, Desains** et **Godard.**

*Spectrophotomètres à polarisation*, **M. Crova, M. Violle.** — *Spectrophotomètres sans polarisation*, **M. Cornu, M. d'Arsonval.**

*Mesure des intensités : Cyanopolarimètre* **Arago** *et* **Duboscq.** — *Cyanomètre de* **M. Crova.** — *Lunette photométrique* **Arago.** — *Photopolarimètre de* **M. Cornu,** *avec dispositif spécial pour observations du jour et de nuit. — Héliophotomètre de* **M. Cornu.** — *Actinomètre de* **Desains.** — *Actinomètre de* **M. Violle.** — *Actinomètre enregistreur de* **M. Crova.**

*Colorimètre* **J. Duboscq.** — *Spectro-colorimètre de* **MM. d'Arsonval** *et* **Pellin.** — *Pyromètre optique de* **M. Le Chatelier.**

**Chapitre IV. — Ondes lumineuses. — Effets de leur rencontre. — Interférences, diffraction. — Anneaux colorés. — Réseaux.**

*Bancs d'optique pour les expériences d'interférences et diffraction, notices spéciales.*

*Lentilles* **Billet.** — *Compensateur* **Billet.** — *Biprisme de* **Fresnel.** — *Biprisme de* **M. Mascart.** — *Biprisme de* **M. Meslin.** — *Bilames* **Fizeau.** — *Parallélépipèdes* **M. Mascart.** — *Miroirs de* **Fresnel.** — *Miroirs de* **M. Mascart.** — *Miroirs de* **M. Gouy.**

*Appareils de* **Brewster,** *des glaces épaisses* **Jamin.**

*Anneaux colorés par transmission, par réflexion.*

*Appareils de* **(Desains-Bertin).** — *Réseaux sur verre.* — *Réseaux métalliques du professeur* **Rowland.**

**Chapitre V. — Catoptrique. — Réflexions des Ondes lumineuses. — Lois de la réflexion. — Miroirs plans, concaves, convexes, cylindriques, coniques, magiques.**

**Chapitre VI. — Dioptrique. — Réfraction des Ondes lumineuses. — Lois de la réfraction. — Dispersion. — Prismes. — Achromatisme des Prismes.**

*Appareil de* **Silbermann.** — *Ecran du* **Dr Gariel.** — *Appareil de* **M. P. Poiré.** — *Prismes.* — *Prismes achromatiques à deux et trois prismes.*

**Chapitre VII. — Spectroscopie. — Historique. — Raies du Spectre. — Absorption. — Chaleur obscure. — Radiophonie. — Mélange des couleurs. — Recomposition de la lumière blanche. — Fluorescence. — Phosphorescence.**

*Spectroscopes horizontaux à un, deux, quatre et six prismes. — Spectroscope vertical de* **J. Duboscq.** *— Spectroscope pour ultra-violet de* **M. Cornu.** *— Spectroscope pour infra-rouge de* **H. Becquerel.** *— Spectroscope à vision directe à prisme de* **M. Janssen,** *modèle de* **M. Cornu.** *— Spectroscope astronomique de* **M. Cornu.** *— Spectroscope à réseau pour l'étude des protubérances solaires modèle de* **M. Rozé.** *— Spectrohéliomètre de* **M. Marchand** (*Pic du Midi*).

*Spectromètre de* **M. Yvon.** *— Hémaspectroscope de* **M. Maurice de Thierry.** *— Nécessaire de* **MM. Delachanal** *et* **Mermet.**

*Chambres pour photographies spectrales,* **Duboscq, M· Cornu, M. Demarcais, M. Deslandres.**

*Appareil* **Tyndall.** *— Radiophone de* **M. Mercadier.**

*Recomposition de la lumière, par deux prismes. — Appareil* **Stroumbo.** *— Lentille cylindrique* **Duboscq.**

*Fluorescence. — Appareil* **Stokes.** *— Cuves et plaques en verre d'urane, Spath fluor, quartz.*

*Phosphorescence. — Phosphoroscopes de* **Ed. Becquerel.**

**Chapitre VIII. — Action sur la lumière des milieux à surfaces courbes. — Lentilles concaves, convexes, ménisques. — Achromatisme. — Focomètres.**

*Lentilles diverses montées sur colonne à rentrant. — Appareil à grossissement variable de* **M. Crova.** — *Lentilles creuses à foyer variable. — Lentille à aberrations. — Lentilles disposées pour montrer l'achromatisme.*

*Lentilles en quartz, Spath fluor, Spath d'Islande. — Lentilles à échelons de* **Fresnel.**

*Focomètres de* **Silbermann,** *de* **M. Cornu,** *de* **M. Dr Weiss.**

**Chapitre IX. — Détermination de la vitesse des ondes lumineuses dans les différents milieux. — Indice de réfraction des corps solides, liquides, Gazeux.**

*Goniomètre de* **Babinet.** — *Oculaire autocollimateur de* **M. Martin.** — *Oculaire nadiral de* **M. Cornu.** — *Grand Cercle de* **Jamin.**

*Appareil de* **Dulong** *et* **Petit.**— *Refractomètre à lentille creuse de* **M. Piltschikof.** — *Réfractomètre de* **M. Dupré.** — *Réfractomètre de* **M. Féry.** — *Réfractomètre de* **M. J. Chappuis.** — *Réfractomètres interférentiels d'***Arago, Jamin, M. Mascart.**

**Chapitre X. — Théorie des vibrations lumineuses suivant des directions constantes. — Polarisation. — Ondes elliptiques, sphériques, double réfrac-**

**tion. — Polarisation chromatique, elliptique, circulaire, rectiligne. — Cristaux à un et deux axes. — Assemblages de cristaux. — Cristaux dichroïques. — Appareils de projection dans la lumière polarisée.**

*Glace noire. — Pile de glaces. — Appareil* **Malus**. — *Appareil* **Guérard**. — *Prismes de* **Nicol**. — *Prismes de* **Foucault**. — *Polariseur, Analyseur* **Delezenne, Brewster, de Sénarmont**. — *Tourmalines, Pince à tourmalines* **Arago-Bertin**. — *Appareil* **Norremberg**. — *Microscope polarisant, Polariscopes* **Babinet, Savart, Arago, Sénarmont, Bravais, M. Cornu, M. Brillouin**. — *Compensateurs* **Babinet, Jamin**. — *Cristaux divers. — Appareil de projection dans la lumière polarisée* **Duboscq**.

**Chapitre XI. — Appareils de mesure des Cristaux. Goniomètres. — Sphéromètres.**

*Goniomètres* **Hauy, Wollaston, M. Cornu, Babinet, Jamin**.

*Sphéromètre grand et petit modèle, machine à diviser. — Micromètre à chariot de* **M. Cornu**.

**Chapitre XII. — Polarimétrie. — Saccharimétrie. Historique.**

*Saccharimètre* **Soleil-Duboscq**. — *Grand et petit polarimètre de* **MM. Cornu** *et* **Duboscq**. — *Colorimètre* **Duboscq**. — *Diabétomètre de* **M. Yvon**.

**Chapitre XIII. — Appareils basés sur la réflexion et la réfraction de la lumière. — Chambres claires. — Chambres noires. — Microscopie. — Lunettes. — Télescopes.**

*Chambres claires* **Wollaston, le Colonel Laussedat, Amici, Govi.** — *Chambres noires à prisme, à tiroir.*

*Microscope simple, composé.*

*Microscope photographique, modèle du Laboratoire municipal de Paris. — Lanterne du Dr* **Roux** *pour éclairage micrographique.*

*Lunettes de* **Galilée** *de* **Babinet.**

*Dynamètre de* **Ramsden.** — *Télescopes.*

**Chapitre XIV. — Vision. — Persistance des impressions sur la rétine. — Illusions d'optique. — Appareils divers. — Stéréoscopie, son historique.**

*Banc d'optique de* **M. Sandoz** *pour l'étude de la vision, de ses anomalies. — Œils artificiels* **Haldat, Gariel, Mergier.**

*Disques de* **Newton,** *couleurs complémentaires. — Anorthoscope* **Faraday,** — *Kaléidoscope simple et de projection. — Roues de* **Faraday.**

*Appareil de* **M. Berget.** — *Lignes de* **Zollner.** — *Phénakisticope simple et de projection. — Ophtalmoscopes. — Optomètres.*

*Stéréoscopes de* **Wheatstone, Brewster, J. Duboscq,** *de* **M. Cazes,** *du Dr* **Parinaud.** — *Stéréoscope américain.*

**Chapitre XV. — Appareils pour la photographie. — Historique.**

*Chambres divers modèles. — Objectifs rapides aplanétiques, grand angle. — Appareils de voyage.*

**Chapitre XVI. — Appareils divers.**

*Enregistreurs photographiques de* **M. Mascart** *pour le magnétisme terrestre, et pour l'électricité atmosphérique.*

*Néphoscope* **Finemann.** — *Héliographe* **Campbell.**

*Lunette viseur de* **M. Damien.**

*Jumelles longue-vue, pour marine, campagne, théatre.*

*Scléromètre* **M. Jannetaz.** — *Monochromatoscope de* **M. Maurice de Thierry.**

**Chapitre XVII. — Acoustique en projection.**

*Appareils de* **Lissajous**, *de* **M. Mercadier.**

---

**Envoi franco du Catalogue illustré**

Le Mans. — Typographie Edmond Monnoyer. — Fév. 95.